



III-112 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE POLUENTES EM LIXIVIADOS DE ATERROS SANITÁRIOS POR DESTILAÇÃO A VÁCUO

Débora Machado de Oliveira⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT). Mestre e Doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Geraldo José da Silva

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Bianca Damo Ranzi

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Armando Borges de Castilhos Jr.

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC. Doutor em Gestão e Tratamento de resíduos pelo *Institut National des Sciences Appliquées* de Lyon, França. Pós Doutorado pela *Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris* – ISIGE/ENSM. Coordenador do Laboratório de Pesquisas em Resíduos Sólidos – LARESO/UFSC.

Endereço⁽¹⁾: Centro Tecnológico, Campus Universitário – Trindade - Florianópolis – SC – Brasil CP. 476 CEP 88.040-970 - Brasil - Tel.: (+55) 48-3721.7754 - Fax: (+55) 48 3234 6459 e-mail: debora.machado@ens.ufsc.br

RESUMO

Os sistemas convencionais de tratamento de lixiviado muitas vezes requerem etapas adicionais de tratamento para que o efluente atinja os padrões, cada vez mais restritivos, de lançamento de efluentes em corpos receptores. O sistema de tratamento por evaporação pode produzir um condensado de alta qualidade em relação aos efluentes obtidos em processos convencionais de tratamento de lixiviado, além disso, o volume do concentrado residual se resume em uma pequena fração do volume original do líquido tratado. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de remoção de poluentes do processo de evaporação como uma alternativa ao tratamento de lixiviado proveniente de aterros sanitários. Para testar esta nova tecnologia de tratamento, foram feitas análises laboratoriais para verificar a influência das condições ambientais de (temperatura, pressão) na qualidade do condensado. Os ensaios de evaporação foram realizados em um evaporador rotativo mod. 801 – da marca Fisatom® acoplado a uma bomba à vácuo mod. 820 Fisatom®. Foram realizados ensaios nas temperaturas de 80°C, 90° e 98°C em diferentes pressões atmosféricas variando de 160 à 460 mmHg. Realizou-se também um ensaio em condições ácidas (pH=4) e outro em condições alcalinas (pH=10). Os resultados obtidos para as concentrações de amônia (NH₃) e demanda química de oxigênio (DQO) nos destilados revelaram que a eficiência de remoção de matéria orgânica atingiu eficiências acima de 95%, porém a eficiência na remoção de amônia em todos os casos foi inferior a 68%. O comportamento da amônia nos destilados obtidos a partir da destilação ácida à pH 4 indica que uma pequena parcela se desprende da amostra bruta de lixiviado nos primeiros minutos de evaporação, atingindo o valor de 364 mg.L⁻¹, sendo observado uma queda gradativa na concentração de amônia nos intervalos subsequentes de destilação. No ensaio realizado em destilação alcalina com ajuste de pH 10, observou-se a liberação de elevadas concentrações de amônia nos momentos iniciais da evaporação e uma queda gradativa da concentração nos destilados, alcançando valores de aproximadamente 60 mg.L⁻¹, nos intervalos posteriores da destilação.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro sanitário; Destilação; Evaporação; Lixiviado.

INTRODUÇÃO

Os lixiviado gerados nos aterros sanitários representam uma grande fonte de poluição, sendo estes gerados pela infiltração de água das chuvas que percolam através da massa de resíduos. Estes efluentes representam um problema de poluição para as águas superficiais e subterrâneas caso não sejam adequadamente tratados.

Muitos estudos de tratamento biológico de lixiviado têm demonstrado que os processos biológicos podem alcançar uma eficiência alta de remoção de amônia (>98%), porém a remoção de substâncias húmicas tem



sido um obstáculo. Além disso, processos biológicos convencionais e processos físico-químicos em geral não reduzem a carga orgânica, em termos de DQO, em níveis adequados para o lançamento direto em corpos receptores (YUE et al., 2006).

Eisner et al. (1996) destacam que a tecnologia de evaporação para lixiviado de aterros sanitários vem sendo aperfeiçoada desde a década de 1980. Os autores concordam que a tecnologia de evaporação é muito eficiente quando comparada com outros métodos de tratamento. Em suas investigações, em escala piloto, a tecnologia de evaporação pôde ser otimizada ao nível de conseguir obter apenas 1% de concentrado em relação ao volume original de lixiviado.

Segundo Giraldo (1997), quando os lixiviados são jovens, há elevadas concentrações de ácidos graxos voláteis e amônia, e dependendo do pH no qual se realizará a evaporação, estes compostos podem ser arrastados junto com o vapor de água. Em alguns casos, tem-se proposto realizar ajustes de pH para minimizar o arraste de ácidos e de amônia, em outros casos, têm-se proposto sistemas múltiplos de evaporação, onde em uma das etapas controla-se as emissões de amônia e na outra as emissões de ácidos orgânicos voláteis.

Com base nas considerações acima, este trabalho teve como objetivo verificar a eficiência deste processo na remoção de amônia e demanda química de oxigênio sob diferentes condições ambientais de temperatura, pressão e ajuste de pH.

MATERIAIS E MÉTODOS

O lixiviado usado neste experimento foi coletado em um aterro sanitário localizado no estado de Santa Catarina. Para caracterização inicial da amostra foram realizados os ensaios analíticos descritos na tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos utilizados para caracterização do lixiviado e seus métodos.

Parâmetros físicos-químicos	Unidade	Método
pH	-	Potenciométrico
Amônia (NH ₄)	mg.L ⁻¹	Titulométrico
DQO	mg.L ⁻¹	Colorimétrico
Sólidos Totais	mg.L ⁻¹	Gravimétrico
Sólidos Voláteis	mg.L ⁻¹	Gravimétrico
Sólidos Fixos	mg.L ⁻¹	Gravimétrico

O procedimento de coleta e armazenamento do lixiviado seguiu as recomendações do *Guia de Coleta e Preservação de Amostras da CETESB* (1987), e todos os ensaios analíticos de caracterização do lixiviado bruto, bem como do destilado obtido, foram analisados conforme metodologia descrita no *Standard Methods* (APHA-AWWA-WEF, 1989).

O aparato experimental utilizado no desenvolvimento da pesquisa foi um evaporador rotativo modelo 801 de fabricação da Fisatom® (Figura 1), acoplado a uma bomba à vácuo com paletas (tipo centrífuga), Modelo 820 Fisaton®. O balão de evaporação utilizado no experimento tinha capacidade para 1 L, sendo que o volume máximo de lixiviado colocado no balão foi de 450 ml, segundo recomendações do manual de instrução do equipamento. A rotação do frasco contendo lixiviado foi ajustada para 20 rpm e a água de resfriamento na coluna de destilação variou entre 25 a 30°C. Foram conduzidos 10 experimentos em diferentes condições de temperaturas (80°C, 90°C e 98°C) e pressões (160, 210, 260, 360 e 460 mmHg), com duração de 180 minutos cada.

Para avaliar a influência do pH na remoção dos poluentes (DQO e amônia) realizaram-se dois ensaios com ajuste de pH antes do processo de destilação a vácuo. Em um dos ensaios foi feito um ajuste de pH no lixiviado para 4 com H₂SO₄ (Ácido Sulfúrico 2M), e no outro foi feito o ajuste de pH para 10 com NaOH. Para esta fase do estudo adotou-se as condições operacionais de temperatura e pressão de 98°C e 210 mmHg. Esta escolha foi feita em virtude da necessidade de obter uma quantidade suficiente de amostra de destilado para a realização dos ensaios de amônia e DQO em cada amostra coletada no intervalo de 15 minutos.

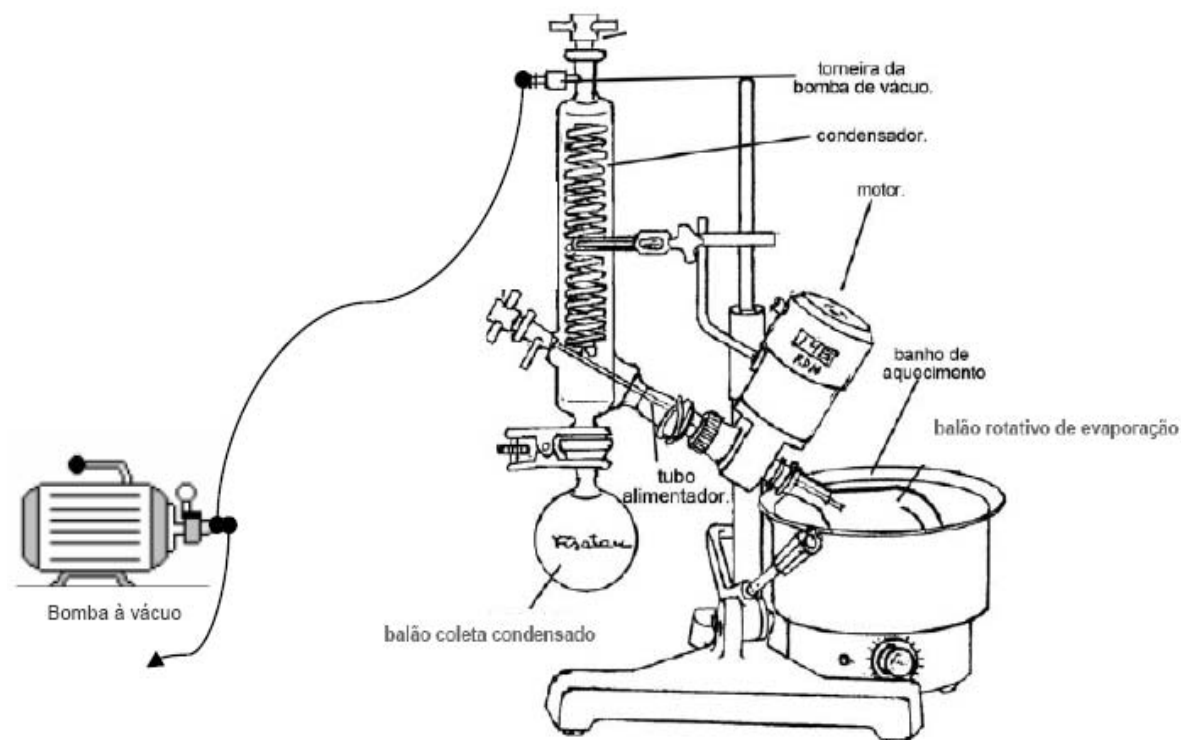


Figura 1. Aparato experimental para evaporação de lixiviado - Rotavapor Fisaton® Mod. 801

RESULTADOS

Apresenta-se a seguir os resultados obtidos na caracterização do lixiviado do aterro sanitário submetido ao processo de destilação. A caracterização do lixiviado revelou concentrações altas de nitrogênio amoniacal, e DQO em fase de decaimento, conforme pode ser observado na tabela 1.

Tabela 1. Características físico-químicas do lixiviado do aterro sanitário em SC.

Parâmetros físicos-químicos	Unidade	Valores
pH	-	8,2
Amônia (NH ₄)	mg.L ⁻¹	1.736
DQO	mg.L ⁻¹	3.280
Sólidos Totais	mg.L ⁻¹	6.968
Sólidos Voláteis	mg.L ⁻¹	2.036
Sólidos Fixos	mg.L ⁻¹	4.932

Diante destas características pode-se afirmar que o lixiviado encontra-se na fase de degradação denominada de metanogênica. Nesta etapa, segundo Castilhos (2003) há acúmulo de substâncias de difícil degradação biológica nos lixiviados, como ácidos fúlvicos e húmicos, originários da decomposição de material vegetal. Observa-se nesta caracterização uma concentração alta de Nitrogênio amoniacal e um teor alto de sólidos fixos, indicando um lixiviado de aterro antigo, portanto de difícil tratamento por sistemas biológicos.

Para estabelecer as relações de eficiência de remoção para a DQO e amônia nos ensaios de evaporação utilizou-se os valores obtidos pela caracterização do lixiviado, tendo em vista que todos os ensaios de evaporação foram realizados com a mesma amostra coletada. Na tabela 2 são apresentadas as eficiências de remoção dos poluentes para amônia e DQO nos ensaios de evaporação realizados sob diferentes condições ambientais de temperatura e pressão.

Tabela 2. Eficiência de remoção de NH_3 e DQO nos ensaios de evaporação/destilação de lixiviado.

Ensaio de Evaporação (Temperatura - Pressão)	Lixiviado (mg.L^{-1})		Destilado (mg.L^{-1})		% Eficiência Remoção	
	DQO	Amônia	DQO	Amônia	DQO	Amônia
80°C - 160 mmHg	3.280	1.736	137	616	96	65
80°C - 210 mmHg			148	1008	95	42
90°C - 210 mmHg			93	980	97	44
90°C - 260 mmHg			109	1456	97	16
98°C - 210 mmHg			75	588	98	66
98°C - 260 mmHg			40	784	99	55
98°C - 360 mmHg			130	784	96	55
98°C - 360 mmHg			52	1120	98	35
98°C - 460 mmHg			106	1848	97	-6
98°C - 460 mmHg			69	560	98	68

Observa-se pelos resultados que a evaporação de lixiviado mostrou ser eficiente na remoção de DQO, com remoções superiores a 95 % em todos os ensaios realizados. Porém, as remoções de amônia não ultrapassaram a 70% de eficiência. Concentrações altas de amônia em destilados obtidos em ensaios de evaporação de lixiviado também foram reportadas por Xu et al. (2006), cujos resultados indicaram concentrações significativas de amônia (1.660 mg.L^{-1}) e baixo conteúdo de matéria orgânica, expresso em termos de COT (31 mg.L^{-1}).

Procurou-se neste estudo, estabelecer uma correlação entre as variáveis (Temperatura e Pressão) e as concentrações dos poluentes arrastados pelo processo de evaporação. Porém não foi possível realizar esta análise em virtude de que este sistema de evaporação pode ter resultado na perda de material volátil para a atmosfera, uma vez que os gases após passar pela coluna de condensação eram conduzidos para fora do sistema de evaporação pela ação da bomba (figura 1). Portanto, este sistema não se mostrou adequado para este tipo de análise, visto que os compostos amoniacais podem não ter tido tempo suficiente na coluna de destilação para serem detectados nos destilados coletados. Esta constatação pode ser observada na figuras 2-a e 2-b, onde uma redução de 50 mmHg na pressão resultou na redução significativa da amônia nos destilados coletados. Observa-se nestes gráficos que a concentração de amônia nos destilados variou significativamente em função da variação da pressão aplicada. Por exemplo, o experimento realizado à temperatura de 80°C uma redução de 50 mmHg, resultou numa aparente remoção de amônia de 392 mg.L^{-1} , no entanto, esta redução de amônia pode estar associada à perda de gases voláteis e não propriamente a uma eficiência de remoção. Devido à esta dificuldade de avaliação novos experimentos estão sendo realizados em um aparato de destilação sem a aplicação de pressões reduzidas.

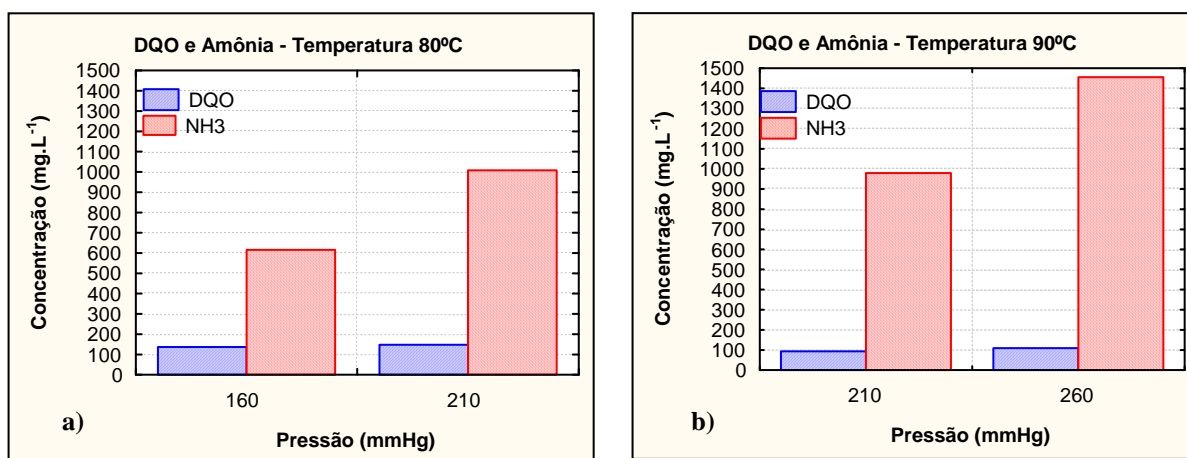


Figura 2. Gráfico de Colunas da concentração de amônia e DQO nos destilados obtidos a temperatura de 80°C (a) e 90°C (b).



O comportamento da amônia nos destilados obtidos a partir da destilação ácida à pH 4 (figura 2) indica que uma pequena parcela se despreendeu da amostra inicial de lixiviado nos primeiros 15 minutos de evaporação (364 mg.L⁻¹), sendo observado uma queda na concentração de amônia nas coletas de destilados subsequentes realizadas nos 30 min (8,4 mg.L⁻¹), 45 min (8,4 mg.L⁻¹), 60min (11,2 mg.L⁻¹) e 75 min (0 mg.L⁻¹). No ensaio realizado em destilação alcalina com ajuste de pH 10 observou-se a liberação de elevadas concentrações de amônia nos primeiros 15 min. (4.942 mg.L⁻¹) e queda gradativa da concentração nos destilados obtidos nos 30 min (1.288 mg.L⁻¹), 45 min (210 mg.L⁻¹) e 60 min (56 mg.L⁻¹).

Este comportamento é explicado pelo fato de que a amônia pode estar presente no lixiviado tanto na forma molecular não ionizada (NH₃), como na forma ionizada (NH₄⁺). Segundo Von Sperling (1996) este equilíbrio na água depende da temperatura e do pH. Quando o pH é inferior a 8, praticamente toda a amônia estará na forma de NH₄⁺, por sua vez quando pH for igual a 9,5, aproximadamente 50% do nitrogênio está na forma de NH₃ e 50% na forma de NH₄⁺, com o pH acima de 11, praticamente toda a amônia na forma de NH₃.

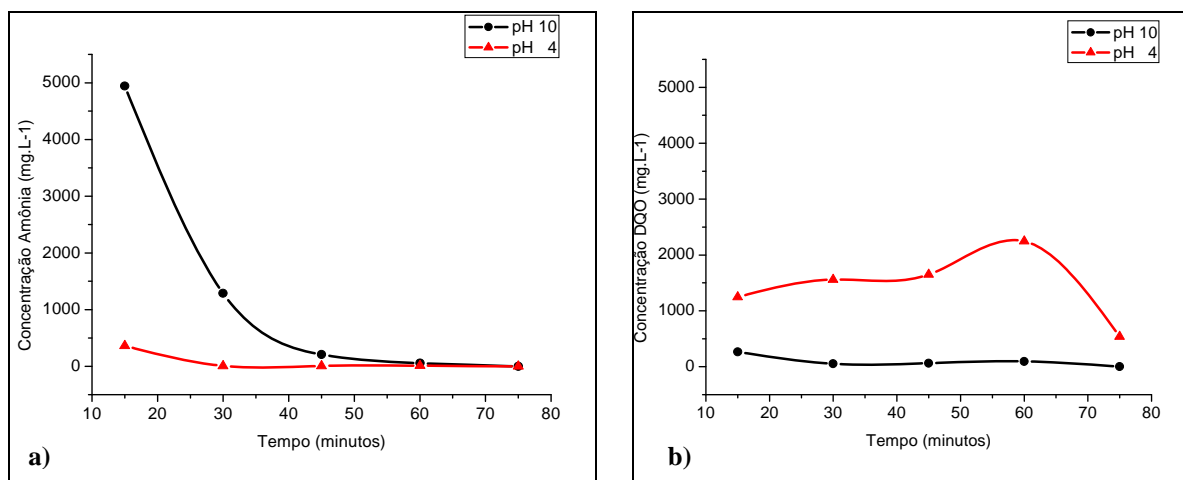


Figura 2. Concentração de Amônia e DQO nos destilados ao longo do tempo com ajuste de pH

A remoção de matéria orgânica mensurada pela análise de DQO nas destilações ácidas e alcalinas revelou um comportamento instável de liberação de matéria orgânica (figura 3). Nas destilações realizadas em pH 4 a concentração de DQO foi bem superior à observada na destilação alcalina. Na destilação ácida o comportamento da liberação da matéria orgânica ao longo do tempo revelou um aumento gradativo, atingindo uma concentração máxima no destilado obtido aos 60 minutos (2.245 mg.L⁻¹) sofrendo uma queda nos 15 minutos subsequentes (541,50 mg.L⁻¹). Na destilação alcalina a liberação de matéria orgânica permaneceu na faixa de 50 a 100 mg.L⁻¹, sendo uma concentração maior observada nos primeiros 15 min. (267,16 mg.L⁻¹).

Yue et al (2006) reportou concentrações mais altas de COD (carbono orgânico dissolvido) nos condensados obtidos em testes de evaporações em condições ácidas do que os conduzidos em condições básicas, e atribuiu as altas concentrações de COD aos COVs, tais como ácido acético, ácido propanóico e ácido butanóico, os quais em condições ácidas apresentam-se mais na forma molecular do que iônica.

CONCLUSÃO

Em todos os experimentos de evaporação de lixiviados realizados em pH normal, a eficiência de remoção de DQO foi superior a 95%, porém a eficiência na remoção da amônia não ultrapassou a 68%. Estes resultados indicam a influência do pH na volatilização da amônia, tendo em vista que o pH do lixiviado bruto estava em torno de 8,5 favorecendo assim a presença de espécies de amônia na forma não ionizada e, portanto mais volátil.

Quanto à influência das condições operacionais nas emissões de poluentes, verificou-se a necessidade de fazer modificações no aparato experimental de forma que o sistema não permita a perda de material volátil. Pois, o sistema de “destilação a vácuo” não se mostrou apropriado para quantificação dos poluentes voláteis, uma vez que dependendo das condições de pressão e temperatura aplicadas o sistema impedirá que o material volátil



seja capturado na forma de condensado na coluna de destilação. Os experimentos realizados com variação de pH indicaram que o ajuste de pH para valores de 10 favoreceu a remoção da DQO, enquanto que o ajuste para pH 4 favoreceu a remoção de amônia no destilado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CASTILHOS Jr., A. B.; LANGE L. C.; GOMES, L. P.; PESSIN, N. (2003). Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte.(coletâneas de trabalhos técnicos). Rio de Janeiro, RJ: RiMa, ABES, 294p.
2. EISNER, P.; LEONHARD, K.; WILDERER, P. A. (1996) Aterro sanitário lixiviado treatment by evaporation. *Jornal of Environmental Engineering*, Fev. 1996 p. 163
3. XU, YU-DONG; YUE, DONG-BEI; ZHU, YI; NIE, YONG-FENG (2006). Fractionation of dissolved organic matter in mature landfill leachate and its recycling by ultrafiltration and evaporation combined process. *Chemosphere*.
4. YUE, DONGBEI; XU, YUDONG; BUX, RASOOL; FUQIANG, LIU MAHAR; NIE, YONGFENG. (2006). Laboratory-scale experiments applied to the design of a two stages submerged combustion evaporation system, *Waste Management*.